Eigenpotentialbeobachtungen mit verschiedenartigen Elektroden, insbesondere an Torflagerstätten

von

MAX SCHUCH

1962

EIGENPOTENTIALBEOBACHTUNGEN MIT VERSCHIEDENARTIGEN ELEKTRODEN, INSBESONDERE AN TORFLAGERSTÄTTEN.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt
von
Max S c h u c h
Januar 1962.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

1. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Angenheister
2.Berichterstatter: Prof. Dr. G. M. Schwab

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Februar 1962.

Fotodruck: Mikrokopie G.m.b.H. München 2, Weinstr. 4

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung..... 1

I. Einführung..... 2

II. Elektrochemische und geophysikalische Grundlagen..... 5

III. Die Eigenpotentialmessungen..... 7

1. Messungen auf homogenen Schottern..... 7

2. Messungen auf Moorgebieten..... 8

a.) Die Kupfer/Kupfersulfat-Elektrode. 8

b.) Die Kalomelelektrode.....12

3. Die Registrierungen in den Chiemseemooren.....15

a.) Die Lage.....15

b.) Die Registriereinrichtungen.....16

c.) Die Ergebnisse.....21

d.) Fehlerquellen.....37

Danksagungen.....42

Zusammenfassung.....44

Angeführte Schriften.....46

Lebenslauf.....49

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546824_0052

E i n l e i t u n g.

Vorliegende Arbeit untersucht "Eigenpotentiale" im nördlichen Alpenvorland, insbesondere an Torflagerstätten. Über "Eigenpotentiale" außer an Erzlagerstätten ist sehr wenig bekannt, da keine systematischen Untersuchungen vorliegen.

Die Versuche wurden fast nur auf Moorvorkommen durchgeführt, da:

a) an Torflagerstätten die "Eigenpotentiale" verglichen mit ungestörten Mineralböden besonders stark ausgeprägt sind,

b) diese Torfvorkommen einen, vom mineralischen Boden klar abgegrenzten geologischen Körper darstellen,

c) die Messergebnisse mit meteorologischen und hydrologischen Beobachtungen an den untersuchten Moorvorkommen, ausgeführt von der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft, verglichen werden konnten.

Es soll durch diese Arbeit die Aufmerksamkeit auf kleine Eigenpotentialdifferenzen am Erdboden gelenkt werden, die sich nicht auf Erzkörper beziehen und denen bisher fast keine Bedeutung zugemessen wurde.

I. EINFÜHRUNG.

Zwischen zwei Punkten des Erdbodens besteht eine natürliche elektrische Potentialdifferenz. Sie kann einige Volt (V) betragen oder nur Bruchteile von einem Millivolt (mV) aufweisen. Ihre Größe wird bestimmt durch den Punktabstand, die Geologie des Untergrundes und den Chemismus des Bodens. Zuweilen findet man sie zeitlich konstant, häufig unterliegen sie aber mehr oder weniger raschen Schwankungen.

Weltweit verbreitete Stromsysteme oder Stromsysteme von regionaler Ausdehnung, die zufolge der Variationen und Pulsationen des erdmagnetischen Feldes im Untergrund induziert werden, bezeichnet man als t e l l u r i s c h e S t r ö m e. Das sie verursachende Spannungsgefälle beträgt an magnetisch ruhigen Tagen einige mV bei einem Elektrodenabstand von einem Kilometer. Diese tellurischen Ströme sind entsprechend ihrer Entstehung Wechselströme mit Perioden von einigen Sekunden (Pulsationen) bis Stunden (Variationen).

Spontan auftretende, lokale Potentialdifferenzen am Erdboden bezeichnet E. POLDINI (1938) als "P o l a r i-

s a t i o n s p o n t a n é e é l e c t r i q u e d u s o u s - s o l". Das Wort E i g e n p o t e n t i a l hat bei vielen Autoren die gleiche Bedeutung. Hier sei eine etwas schärfere Definition gegeben: e i n E i g e n p o t e n t i a l i s t d a s d e m E r d b o d e n , g e o l o g i s c h e n K ö r p e r o d e r M e ß o b j e k t e i g e n e n a t ü r l i c h e e l e k t r i s c h e P o t e n t i a l. Das Wort "Eigenpotential" sagt also nichts über die Herkunft des Potentials aus. Die Definition schließt nur die aufgeprägten Potentiale der tellurischen Ströme aus.

1. "Eigenpotentiale", spontanious potential, polarisation spontanée. An oberflächennahen sulfidischen Erzkörpern sowie an Kohle- (E. POLDINI 1947, J.M. VALLET 1949) und Graphit-Lagern (F. WILKENS 1955) treten beträchtliche, über Jahre konstante, natürliche, elektrische Potentialgradienten auf. Ihre Größe liegt bei 100 bis 1000 mV pro 10 bis 100 m. Ein Äquipotentiallinienplan (Eigenpotentialmethode) erlaubt Schlüsse auf die Ausbildung der Lagerstätte.

2. Tellurik. Aus gleichzeitigen Beobachtungen der Potentialverteilung (einige mV/km) schließt man auf die Größe und räumliche Verteilung des elektrischen Widerstandes im Untergrund und damit auf einen geologischen Aufbau (z.B. L. CAGNIARD 1956). Oft wird auch das Magnetfeld der im Untergrund induzierten Ströme mitgemessen.

Während die erste Methode sich nur mit den größeren ($>$50 mV) natürlichen Potentialdifferenzen am Erdboden befaßt, interessiert man sich bei der zweiten Methode ausschließlich für die zeitliche Variation kleiner Potentialwerte (einige mV). Eine Verbesserung der Arbeitsweise bei der Eigenpotentialmethode würde auch die In-

terpretation noch kleinerer Werte erlauben. Voraussetzung hierfür ist es, sämtlichen eventuellen Fehlerquellen nachzuspüren und sie nach Möglichkeit zu beseitigen oder zumindest ihre Größe genau zu kennen und zu berücksichtigen.

Vorliegende Arbeit behandelt in einem Abschnitt über elektrochemische und geophysikalische Grundlagen zunächst kritisch die von der angewandten Geoelektrik beim Erfassen natürlicher, elektrischer Potentialdifferenzen am Erdboden verwandte Arbeitsweise. Anschließend wird eine, nach Wissen des Verfassers bisher in der Geoelektrik nicht benützte Elektrodentype behandelt. Nach der Beschreibung von Versuchsmessungen wird das Auftreten von natürlichen, elektrischen Potentialdifferenzen auf Moorvorkommen (Torflagerstätten) geschildert und ihre Entstehung im wesentlichen durch Unterschiede in den pH-Werten erklärt. Es folgt die Besprechung von geoelektrischen Messungen und Registrierungen in den südlichen Chiemseemooren. Nach Wissen des Verfassers sind Messungen solcher Art noch nicht in der Literatur bekannt geworden. Sie zeigen neben anderen bemerkenswerten Beobachtungsergebnissen sehr interessante Zusammenhänge zwischen täglicher Potentialschwankung, täglicher bis jährlicher Widerstandsschwankung und den meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen.[1)]

---

1) Die Messwerte verdanke ich der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft, insbesondere Herrn Oberregierungsrat Dr. H. Vidal und Herrn Dr. Schmeidl.

II. ELEKTROCHEMISCHE UND GEOPHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN.

Neben der elektronischen Leitfähigkeit, wie sie in Metallen, Erzen und Graphit auftritt, findet man in der Natur weit verbreitet die elektrische Leitfähigkeit durch Ionen. Jede Messung am naturfeuchten Boden bedeutet eine Messung an einem Elektrolyten. In der Laboratoriumstechnik mißt man elektrolytische Widerstände in einer Wechselstrombrücke nach Kohlrausch im Leitgefäß oder in der Tauchelektrode. Bei Verwendung von Gleichstrom würden auftretende Polarisationseffekte an den Übergängen von metallischen zu elektrolytischen Leitern die Messung verfälschen.

Eine zweite und ältere Methode zur Messung von Elektrolytwiderständen ist die in der Geophysik heute noch übliche Anordnung nach Schlumberger oder Wenner zur Bestimmung von scheinbaren Widerständen des Bodens.

Gleich- oder Quasigleichspannungen an elektrolytischen Leitern können mit unpolarisierbaren Elektroden (Elektroden 1. Art) z.B. Kupfer in Kupfersulfat mit Überführung ohne Fehler gemessen werden, sofern an beiden Elektrodenberührungspunkten der Elektrolyt des Meßobjektes gleiche Beschaffenheit aufweist (E. POLDINI 1938). Dies ist in der Regel im Elektrolyttrog der Fall. Das sich einstellende Diffusionspotential an den Grenzen 1 und 2 der Kette des

Typ 1) $Cu/CuSO_4 \;/_1\; \text{homogener Elektrolyt} \;/_2\; CuSO_4/Cu$

ist gleich groß und entgegengesetzt gerichtet. Es tritt also nach außen hin nicht in Erscheinung.

Schwieriger ist eine Potentialmessung am inhomogenen Elektrolyt. Es liegt dann etwa eine Kette des Typ 2 vor.

Typ 2) $Cu/CuSO_4 \;/_1\; c_1 \;/_3\; c_2 \;/_2\; CuSO_4/Cu$

c_1 und c_2 mögen irgendwie geartete verschiedene Elektrolyte sein. An den beiden Kupferelektroden würde man die Summe der Potentialdifferenzen der Grenzen 1, 2 und 3 messen. Die Potentialdifferenzen an den Grenzen 1 und 2 lassen sich durch Zwischenschalten von Lösungen, bei denen Kationen und Anionen gleiche Wanderungsgeschwindigkeit besitzen, vermeiden (Elektroden ohne Überführung). Bei Lösungen von Ammoniumnitrat, Natriumnitrat und Kaliumchlorid ist dies der Fall. In einer Kette des Typ 3) $Cu/CuSO_4$ / KCl / $_1$ c_1 / $_3$ c_2 / $_2$ KCl / $CuSO_4/Cu$

würde nur die Grenzschicht 3 eine Potentialdifferenz verursachen.

Bei Ketten des Typus 3 diffundieren bald, besonders im Geländebetrieb, die $CuSO_4$- und KCl - Lösungen ineinander und beeinflussen stark das Elektrodenpotential. Ein Ausweg bietet sich in den Elektroden 2. Art an.

Auch Elektroden 2. Art sind Metallelektroden. Das Metall ist jedoch von einer Schicht eines seiner schwerlöslichen Salze bedeckt. Der umgebende Elektrolyt hat mit dem schwerlöslichen Salz das Anion gemeinsam. Solche Elektroden 2. Art finden als Bezugselektroden bei pH-Messungen in Form von Kalomel-, Chlorsilber-, Mercurosulfat- und Thalamidelektroden Anwendung (W. KORDAZKI 1949). Sie besitzen dank der schwerlöslichen Salze gegen die Normalwasserstoffelektrode mit dem Definitionspotential Null ein konstantes Potential. Es beträgt bei der gesättigten Kalomelelektrode + 242 mV, bei der n - Kalomelelektrode + 280 mV (nach E. MÜLLER - H. REUTHER 1953).

III. DIE EIGENPOTENTIALMESSUNGEN. [1]

Die Einzelpotentiale im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mit einem Kompensator gemessen, der im Prinzip der Poggendorfkompensation ähnlich ist. Als Nullinstrument diente ein Zeigergalvanometer mit einer Empfindlichkeit von 3×10^{-7} A/Skt und bei Gebern mit höherem Widerstand das Multiflexgalvanometer Type MG 4 nach Lange mit einer Empfindlichkeit von $5{,}7 \times 10^{-10}$ A/Skt. Die Meßgenauigkeit des Kompensators beträgt bei 100 mV etwa $\pm$ 2 bis $\pm$ 4 mV. Die relative Messgenauigkeit ist wesentlich besser.

1.) Messungen auf homogenen Schottern.

Bei Einzelmessungen auf homogenen Schottern des Inngletschers im Landkreis Wasserburg/Inn bei Altdorf, Aumühle, Lengmoos, Weihermühle, Kloster Au, Sensau mit den bisher in der angewandten Geophysik fast ausschließlich verwendeten $Cu/CuSO_4$-Elektroden zeigte es sich, daß auftretende kleine Potentialdifferenzen bis zu $\pm$ 2 mV bei Elektrodenabstand von einigen 100 m ihre Ursache in der physikalisch - chemischen Beschaffenheit des Bodens haben. Die Elektrodengefäße selbst wurden nach Abheben der Grasnarbe oder der oberen 3 bis 6 cm Verwitterungsschicht aufgesetzt. So findet man auf homogenen Wiesen zwischen mehreren 100 m Elektrodenabständen selten größere Werte als $\pm$ 1 mV. Die von E. POLDINI (1938) angegebenen Potentialsprünge von etwa $\pm$ 5 mV zwischen frischgepflügten

---

1) In vorliegender Arbeit wird häufig wie auch in anderen Veröffentlichungen wegen Vereinfachung statt Eigenpotentialdifferenz, Eigenpotential, statt Potentialdifferenz Potential gesagt werden.

Feldern und Wiesen fand der Verfasser bestätigt. Poldini führt dies auf eine aktive Elektrofiltration in frisch aufgebrochenen Böden zurück. - Hingegen müssen zwischen Wäldern und Wiesen auftretende Potentialsprünge von ± 2 bis ± 5 mV dem unterschiedlichen Chemismus an beiden Elektrodenaufsetzpunkten zugeschrieben werden. Man bedenke, daß Waldböden meist einen niedrigeren pH-Wert besitzen als Wiesenböden, zumal in ersteren die von Seiten der Landwirtschaft auf Wiesen und Feldern zugeführten Düngestoffe fehlen. Es dürfte eine Kette des Typs 2 Kap. II, vorliegen.

Topographische Effekte treten zuweilen deutlich in Erscheinung (30 mV/100 m Höhendifferenz), zuweilen bleiben sie auch aus. Ihre Entstehung ist nach Wilkens ungeklärt, nach Poldini unter anderem auf elektrokinetische Effekte und Leitfähigkeitsanomalien zurückzuführen.

Diese kurzen Ausführungen sollen einen Überblick über auftretende Potentiale auf den geologisch mehr oder weniger homogenen Böden des Alpenvorlandes geben. Diese Potentialwerte sind sehr klein. Sie lassen daher die ausgeprägten Potentialsenken (negative Potentialwerte gegenüber dem Mineralboden) in besonderem Licht erscheinen, die der Verfasser bei seinen Messungen in den Hoch- und Niedermooren des niederschlagsreichen Alpenvorlandes gefunden hat. Sie werden in folgendem dargestellt.

2.) Messungen auf Moorgebieten.

a.) Die Kupfer/Kupfersulfat-Elektrode.

Zahlreiche Potentialmessungen an verschiedenen Moorvorkommen Oberbayerns zeigten: Jede Mooroberfläche besitzt ein zeitlich nur geringen Schwankungen unterworfenes negatives Potential gegenüber dem Mineralboden. Abb. 1 gibt die für alle Hochmoore charakteristischen Verhält-

nisse wieder. Die Potentialdifferenzen wurden unter Verwendung von Kupfersulfatelektroden gemessen. Kupferblech und Kupfersulfat von E. Merk hatten den Reinheitsgrad "purissimum". Die trotzdem noch vorhandene geringe Polarisation der Elektroden ergab sich durch das unmittelbare Nebeneinanderstellen beider Elektroden vor und nach der Messung des Profils. Unterschiede in der Polarisation vor und nach der Messung des Profils wurden als zeitlich lineare Veränderungen angenommen und bei der Korrektur einer jeden Messung entsprechend berücksichtigt (Korrigiertes Potential). Wie weit diese Annahme zutrifft, zeigt Abb. 3 unten. Die positiven Werte zwischen Profilmeter 200 und 310 der Abb. 1 entstammen Messungen nahe dem Grundwasserspiegel in Mooren.

Es liegt nahe, die in vorliegender Arbeit untersuchten Potentialsenken über Moorgebieten auf den saueren Charakter des Torfes zurückzuführen. Abb. 2 zeigt Zusammenhänge zwischen den pH-Werten der Meßpunkte und der Eigenpotentialkurve. Ähnliche Zusammenhänge hat der Verfasser an allen untersuchten Moorvorkommen (Fachenliehen, Sensau, Salinenfilze, Murnauer Moore, Chiemseemoore) festgestellt. Während die untere ausgezogene Kurve (Abb. 2) das Meßpunkt (MP)- Potential darstellt, d.h. den Potentialwert, den der MP nach Abheben der obersten Grasnarbe oder einer ca. 5 cm dicken Torfschicht (Abraum) besitzt, gibt die gestrichelte "Sodenpotentialkurve" den Potentialwert wieder, der ausschließlich auf den Chemismus des Bodens in unmittelbarer Elektrodennähe zurückzuführen ist. Es wurde hierzu eine Sode unter dem MP herausgestochen, diese unmittelbar neben die Bezugselektrode am Meßpunkt Null gelegt und das Potential bestimmt. Elektrofiltration oder Anteile der zeitlichen Variation des MP-Potentials ließen sich auf diese Weise ausschließen. Die so erhaltene Kurve zeigt größere Ähnlichkeit mit der pH-Kurve als die MP-Potentialkurve. Zwischen Profilmeter Null und

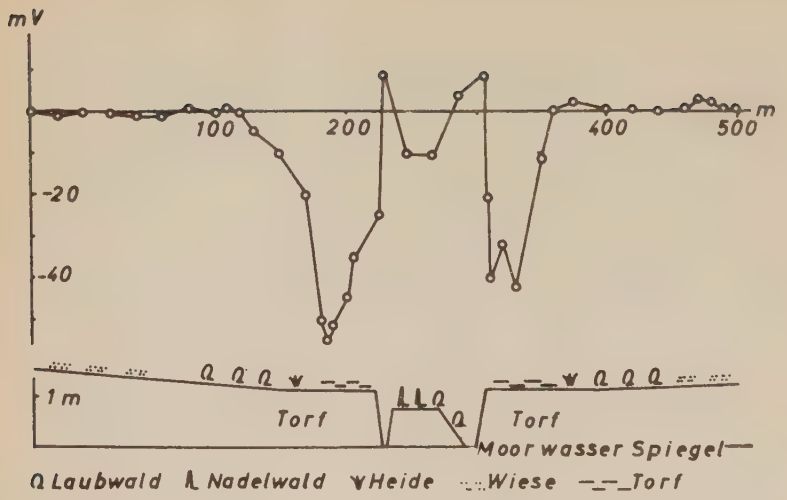


Abb. 1

Charakteristische Eigenpotentiale über einem kleinen, entwässerten und teilweise abgetorften Hochmoor bei Fachenliehen im Landkreis Wasserburg/Inn. Die Potentialdifferenzen wurden in diesem Fall über Kupfer/Kupfersulfat-Elektroden gemessen. Die Bezugselektrode stand auf Mineralboden. Eine geringe Polarisation der Elektroden ($\pm$ 2 mV) wurde vernachlässigt. Man bestimmt diese Polarisation, indem man die beiden Elektroden unmittelbar nebeneinander auf homogenen Boden stellt und die Potentialdifferenz zwischen ihnen mißt. Die Ordinate in dem unteren Teil der Abb.1 ist 4o fach überhöht.

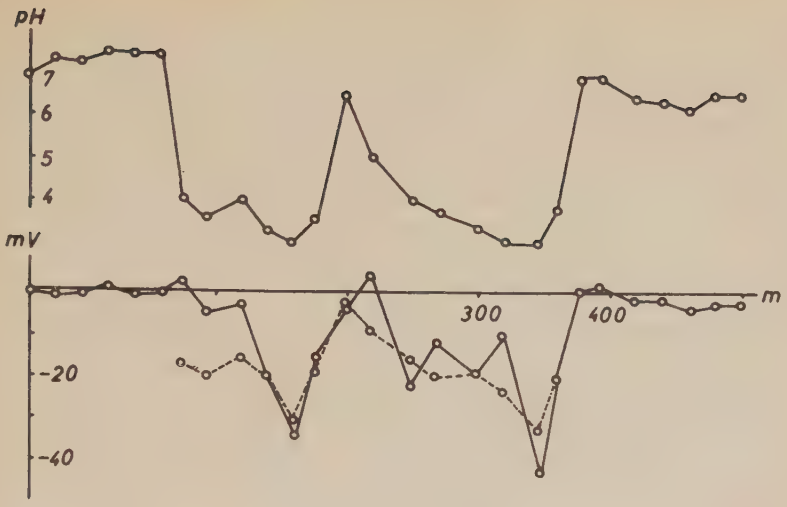


Abb. 2

Eigenpotential ("Meßpunktpotential", siehe III,2 b) eines kleinen Moores bei Fachenliehen in der Nähe von Wasserburg/Inn, in Verbindung mit pH-Bestimmungen des Bodens. Die gestrichelte Linie gibt das "Sodenpotential" wieder. Das Sodenpotential erhält man, indem man eine Torfscholle (Sode) an einem Meßpunkt herraussticht, unmittelbar neben den Bezugspunkt legt, auf ihr die Wanderelektrode aufsetzt und die Potentialdifferenz zwischen Fest- und Wanderelektrode bestimmt. Man beachte die große Kurvenähnlichkeit von Sodenpotential und pH-Werten.

75 sowie 375 und 500 war die Bestimmung eines Sodenpotentials unmöglich, da sich Mineralboden nicht in Sodenform stechen lassen.

Aus diesen und vielen anderen Messungen ergibt sich zusammenfassend: Torflagerstätten besitzen niedrigere pH-Werte als Mineralböden. Gemäß ihrer Genese (in diesem Fall Hochmoor über Niedermoor) zeigen Hochmoorkörper an der Oberfläche die niedrigsten pH-Werte. Mit zunehmender Tiefe steigen die pH-Werte an, um nahe dem Mineralboden neutral bis leicht basisch zu werden (H. VIDAL u. E. HOHENSTATTER 1959). Die über Moorkörpern und an Torfstichwänden mit Kupfer/Kupfersulfat-Elektroden festgestellten negativen Eigenpotentiale gegenüber dem Mineralboden lassen sich im wesentlichen mit den Ergebnissen der pH-Messungen erklären. Die Potentialdifferenzen können durch das Zusammenwirken von drei Grenzschichten verursacht werden:

$Cu/CuSO_4$ / Mineralboden, pH 6-8 / Moorboden pH 3-5 / $CuSO_4/Cu$
(1) (3) (2)

b.) Die Kalomelelektrode.

Es wäre denkbar, daß die Grenzpotentiale 1 und 2 obiger Kette den Hauptanteil des gemessenen Potentials ausmachen. Man denke an die großen Konzentrationsunterschiede zwischen der Kupfersulfat-Lösung und dem Bodenelektrolyt. Das würde bedeuten, daß die Potentialsenken über Moorkörpern nur durch Elektrodeneffekte vorgetäuscht werden. Durch Zwischenschaltung gesättigter Kaliumchlorid-Lösungen zwischen Boden und Kupfersulfat-Lösung lassen sich die Potentialsprünge 1 und 2 unterdrücken. Versuche dieser Art auch unter Verwendung von Agar-Agar-Gel lieferten unbefriedigende Ergebnisse, da beide Elektrolyte zu rasch ineinander diffundierten. Die Kalomelelektrode mit Schliffdiaphragma dagegen unterdrückt die Potentialdifferenz 1 und 2 in

idealer Weise, da die Kaliumchlorid-Lösung die elektrische Leitung zum Boden herstellt. Der einzige Nachteil ist der hohe Anschaffungspreis sowie die Zerbrechlichkeit dieser Elektroden. Bei der Messung wurde ihr Schliffdiaphragma in einen mit gesättigter Kaliumchlorid-Lösung gefüllten Tonzylinder getaucht und dieser auf den Erdboden aufgesetzt. Abb. 3 gibt das korrigierte (III 2a) MP-Potential von Kalomelelektroden und Kupfersulphatelektroden wieder. Um einen Überblick über den "Gang" der Elektroden, also deren mit der Zeit sich ändernden Polarisationsgrad, zu erhalten, wurde vor jeder einzelnen Potentialmessung der Polarisationsgrad bestimmt. Die Ergebnisse finden sich in Abb. 3. Man sieht, die Polarisation ist im Vergleich zu den MP-Potentialwerten gering. Außerdem stellt man bei der Kupfersulfatelektrode ein größeres Schwanken des Ganges fest als bei der Kalomelelektrode. Im unteren Teil der Abb. 3 sind die MP-Werte sowie der Gang auf dem "Rückweg" wiedergegeben. Man sieht die bessere Reproduzierbarkeit der mit der Kalomelelektrode gemessenen Werte. Bei MP 80 wurden die Elektroden an einer Stichwandoberkante sowie unmittelbar über dem Grundwasserspiegel im Moor aufgesetzt.

Ein Vergleich der mit der Kalomel (Hg_2Cl_2) - Elektrode und der mit der Kupfer (Cu) - Elektrode bestimmten Werte bestätigt die Existenz der mit Cu-Elektroden über Moorkörpern festgestellten Potentialsenken. Sie entstammen in der Hauptsache dem Grenzpotential 3 der im vorhergehenden Abschnitt (II) unter Typ 3 dargestellten Kette.

In Abständen von einigen Wochen, Monaten bis Jahren durchgeführte Eigenpotential- und pH-Messungen über einem kleinen Moor bei Fachenliehen in der Nähe Wasserburg, lassen erkennen: Im Bereich der Meßgenauigkeit treten keine pH-Änderungen des Bodens an den einzelnen Meßpunkten auf. Trotzdem war die Reproduzierbarkeit der Potentialwerte nicht befriedigend. Sie läßt noch weitere Span-

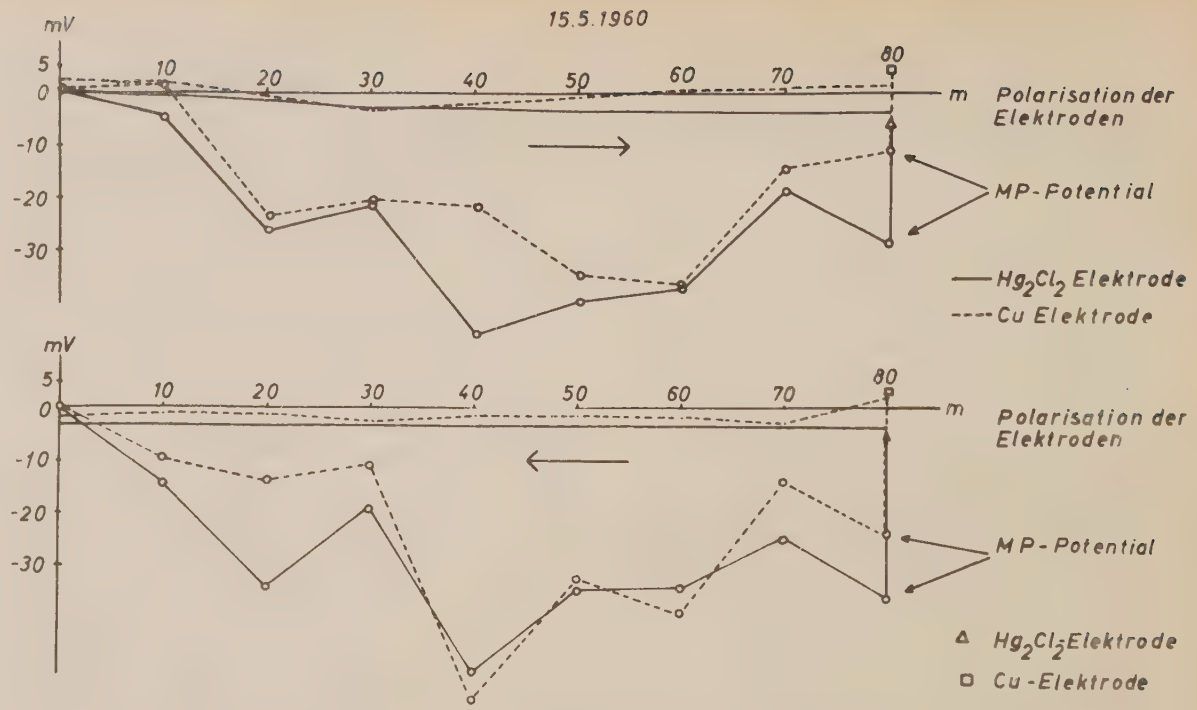


Abb. 3. Korrigiertes (siehe II,2 a) Meßpunktpotential von Kalomel- und Kupfer/Kupfersulfat-Elektroden über einem kleinen Moor bei Fachenliehen, Landkreis Wasserburg/Inn. Nahe der Entfernungsachse sind die Polarisationswerte der beiden Elektroden unmittelbar vor jeder Messung angegeben. Δ und □ Potentialwerte wurden an einer Stichwand gemessen.

nungsquellen vermuten. Registrierungen in den südlichen Chiemseemooren sollten diese Verhältnisse klären.

3.) Die Registrierungen in den Chiemseemooren.

a.) Die Lage.

Zwischen dem südlichen Chiemseeufer und dem Alpenrand erstreckt sich eine etwa 2 400 ha große Hochmoorfläche. Der fünf bis acht Meter mächtige Torfkörper ruht auf graublauem, zähplastischem, sandigschluffigem Ton bzw. tonigsandigem Kies. Diese postglazialen Sedimente lagern auf Gesteinen der tertiären Molasse (H. VIDAL 1959).
Teilweise ist das Moor völlig unberührt, z.B. die Rottauer -Feßler Filze, teilweise wurde es entwässert, kultiviert und landwirtschaftlich genutzt, wie z.B. die "Kühwampen". Östlich des Neumühler Baches schließt sich an die "Kühwampen" eine etwa 30 ha große, vor 37 Jahren vorentwässerte Hochmoorfläche an. Sie ist in Staatsbesitz und wurde der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft für Versuchszwecke zur Verfügung gestellt.

Diese Anstalt unterhält für Versuchszwecke seit 1954 nahe diesem Moorgebiet bei Bernau eine Moorforschungsstelle. Von ihr aus werden seit 1955/56 mehrere meteorologische und hydrologische Meßstationen betreut. Sie dienen unter anderem der Feststellung von Klimaunterschieden zwischen kultivierten, teilkultivierten und unkultivierten Moorflächen und deren Wasserhaushaltsverhältnissen (H. VIDAL 59, 60, 61; H. SCHMEIDL 60).

Das Versuchsgebiet liegt in der niederschlagsreichen Alpenrandszone mit 1 400 mm mittlerem Jahresniederschlag und einer mittleren Jahrestemperatur von 7°C. In der Zone zwischen Alpenrand und Chiemsee tritt häufig starker Föhn mit extrem geringer Luftfeuchte und hoher Verdunstung auf (H.VIDAL 1959).

Die Weiträumigkeit des Geländes, die mir jederzeit zur Einsicht überlassenen Messwerte der meteorologischen und hydrologischen Einrichtungen, nicht zuletzt die freundliche Unterstützung von Herrn Oberregierungsrat Dr. H. Vidal sowie die stete Hilfsbereitschaft des Leiters der Moorforschungsstelle Bernau, Herrn Dr. H. Schmeidl - beiden Herrn sei an dieser Stelle herzlich gedankt - ließen die südlichen Chiemseemoore für mein Vorhaben, die Eigenpotentiale der Moore zu erforschen, besonders geeignet erscheinen.

Auf der Rottauer-Feßler Filze (Bernau 1) und dem Gebiet der Kühwampen (Bernau 2) befinden sich meteorologische und hydrologische Stationen. Beide liegen im Sperrgebiet der Strafanstalt Bernau. Die vorentwässerte, mit Heidekraut, Föhren und Birken bewachsene Versuchsfläche ca. 800 m östlich der Station Bernau 2 (Kühwampen) liegt außerhalb dieser Zone.

Die am 17. 3. 60 neben Bernau 2 errichtete geoelektrische Registrieranordnung Bernau E I wurde deshalb am 6. 4. 60 auf das jedermann zugängige und trotzdem äußerst selten von Fremden betretene vorentwässerte Gebiet verlegt, zumal hier die Möglichkeit bestand, nahezu beliebig lange und viele elektrische Leitungen zu legen sowie auch nachts (einlegen von Registrierpapier usw.) zu arbeiten.

b.) Die Registriereinrichtungen.

Die Spiegelgalvanometer - Lichtschreiber Registrierung führte der Verfasser in lichtdichten, regengeschützten Aluminiumkästen auf freiem Gelände durch. Zwei solche Kästen wurden eingesetzt. In einem (Bernau E I) wird seit März 1960 registriert. Zur Stunde ist er noch in Betrieb. Ein zweiter Kasten (Nebenstation Bernau E II) war von Anfang Oktober 1960 im Einsatz, mußte jedoch in Ermanglung

entsprechender Stromversorgungsbatterien und zuverlässiger Lichtschreibgeräte am 15. 2. 61 abgebaut werden. So mußte auf weitere Ergebnisse der Nebenstation verzichtet werden.

Da die Station weit ab von jedem Netzanschluß arbeitet, mußte der Film in einem Lichtschreiber mit Zehntage-Uhrwerk und Fallgewicht transportiert werden. Eine zu einer Schaltuhr umgebaute elektrische Küchenuhr mit Sekundenzeiger, wärmeisoliert und feuchtigkeitsgeschützt eingebaut, kontrolliert durch Stundenmarken den Gleichlauf des Films. Es wird mit der für magnetische Registrierungen üblichen Transportgeschwindigkeit von 20 mm pro Stunde registriert. Nickel-Cadmium-Sammler speisen die für die Spiegelgalvanometerregistrierungen erforderliche Beleuchtungslampe. Sie liefern zugleich den Strom für Relais sowie den Strom zur Beleuchtung der Schlauchwaagenanordnung (siehe unten). Die maximal sechs Galvanometer der Anordnung Bernau E I registrieren elektrische Potentialdifferenzen nach der für tellurische Ströme üblichen Galvanometerregistrieranordnung (z.B. G. PORSTENDORFER 1954, HAALCK-BUCHHEIM 1958). Über verschiedenartige Elektrodenpaare in unterschiedlicher geometrischer Anordnung werden die Potentiale am Torfkörper abgegriffen.

Ferner wird der Widerstand des Bodens nach einer Schlumbergeranordnung stündlich gemessen. Den Elektroden - Sondenabstand wählte ich dabei 1,2 m, den Sonden - Sondenabstand 0,6 m. Die Sonden der Schlumbergeranordnung (1 Paar $Cu/CuSO_4$ in 0,2 m Tiefe, 1 Paar Hg_2Cl_2 oberflächlich, 1 Paar $Cu/CuSO_4$ oberflächlich) dienen zugleich als Elektroden einer Eigenpotentialregistrierung. Jeweils in der Zeit von der 29. bis 31. Minute nach jeder vollen Stunde läßt die Schaltuhr über ein Relais einen Strom I über die Elektroden der Schlumbergeranordnung fließen. I wird über ein Spiegelgalvanometer mit temperaturgeschütztem Parallelwiderstand kontrolliert. Als Stromquelle dient ein durch

Glaswatte isolierter gasdichter Ni-Cd-Akku mit sehr großer Kapazität (7 Ah; Stromentnahme 0,1 mA). - Das Galvanometer der Eigenpotentialregistrierung auf der 0,6 m langen Strecke zwischen den beiden Schlumbergerelektroden erfährt durch den stündlich eingeschalteten Strom eine für den Strom und den momentanen Widerstand des Bodens charakteristische zusätzliche Auslenkung. Aus diesem Potentialzuwachs ΔU[mV] und dem Strom I [mA] sowie der geometrischen Anordnung wird der scheinbare Widerstand ρ_s nach der Beziehung von Schlumberger (z.B. K.JUNG 1948) wie folgt berechnet:

$$\rho_s = (\pi/2)\ [(\Delta U/I)\ (d^2-c^2)\ /\ c)]$$

dabei ist d = 1,6 m; Elektroden-Sondenabstand + c
c = 0,3 m; halber Sonden-Sondenabstand.

Um aufzuklären, ob tägliche Potentialschwankungen auf Wasserbewegungen zurückzuführen sind, erschien die zusätzliche Beobachtung einer vom Wasserhaushalt abhängigen nicht-elektrischen Größe wünschenswert. Man könnte an drei Möglichkeiten denken:

1. Radiohydrologische Verfahren,
2. Anfärbung,
3. Impfung mit chemisch oder spektralanalytisch leicht und rasch nachweisbaren Stoffen.

Die radioaktive Methode scheidet wegen zu hoher Kosten aus und würde überdies, wie die beiden anderen Methoden auch, zu wenig zuverlässigen Ergebnissen führen, da der Torf durch seine starke Absorption die meisten Fremdionen festhält (I. ANSCHÜTZ und F. GESSNER 1954). Ich beobachtete daher die relative Vertikalbewegung des Moorkörpers gegen den mineralischen Untergrund. Solche Messungen führt die Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft schon seit Jahren aus (H. VIDAL 1960). Es ergab sich ein

Schrumpfen des Moores bei Austrocknung und ein Quellen bei Niederschlägen. Die bisher dabei eingesetzten mechanischen Schreibgeräte liefern zwar einen ausgezeichneten Überblick über Bewegung in größeren Zeitabständen, lassen jedoch Tagesgänge nur schwer erkennen. Auf Vorschlag von Herrn Oberregierungsrat Dr. Vidal wurde eine Schlauchwaage eingesetzt. Die Abb. 4 gibt im unteren Teil schematisch das Registrierprinzip wieder: Zwei mit Kupfersulfat-Lösung gefüllte Bechergläser mit angeblasenem Ausflußrohr sind mit einem Polyäthylenschlauch verbunden. Beide Gläser sind in entsprechende lichtdichte Armaturen eingebaut. Ein in den mineralischen Untergrund eingetriebenes Eisenrohr dient als unveränderlicher Bezugspunkt. An einem solchen Rohr wurde in entsprechender Höhe das eine Becherglas befestigt, das andere in einer Entfernung von einigen Metern auf den Moorboden gestellt, dessen Hebung und Senkung beobachtet werden sollte. Unter jedem Becherglas befindet sich eine Fotodiode. Die Linse L bildet die Wendel der Glühbirne B auf die Fotodiode F ab. Dabei durchleuchtet der Strahl die Kupfersulfatlösung. Die Fotodioden sind über ein Spiegelgalvanometer gegeneinander geschaltet. Hebt sich das bewegliche Becherglas, so ändert sich die Flüssigkeitshöhe in beiden Gläsern und bewirkt eine Änderung der auf die Fotodioden treffenden Lichtintensität. Das wiederum bewirkt eine Stromänderung im Galvanometerkreis. – In Abb. 4 oben ist die Eichkurve der Anordnung wiedergegeben. Bei der Eichung erfolgte die Ablesung am Galvanometer stets 10 Minuten nach Hebung des Becherglases um einen bekannten Betrag. Aus den Werten bei Hebung und Senkung ist ersichtlich, daß der eingestellte Endwert nach 10 Minuten noch nicht ganz erreicht ist. Die Anordnung hat also eine große Trägheit, was jedoch für meine Zwecke nicht nachteilig ist. - Ich verwendete nach einigen Vorversuchen Kupfersulfatlösung als Füllung der Schlauchwaage (etwa bei 18° C 3/4 gesättigt) und überschichtete

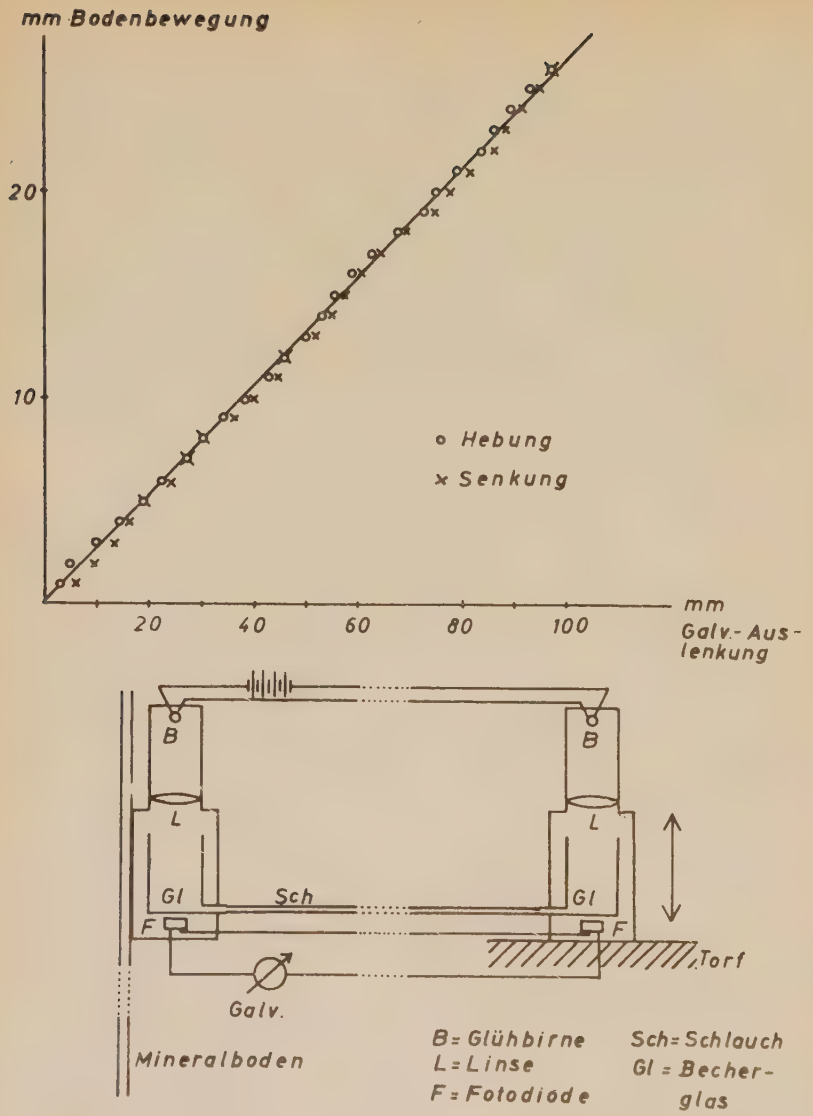


Abb. 4

Schlauchwaage: Eichkurve und schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

die Lösung zur Vermeidung von Verdunstung und Adhäsion mit Petroleum. Bei Temperaturen bis - 15° C arbeitet diese Füllung ausgezeichnet. Bei tieferen Temperaturen erstarrt die Lösung zu einer undurchsichtigen, schneeigen Masse. Der Kälteeinbruch am 25. 12. 60 setzte die Anordnung außer Betrieb. Die Verwendung von Frostschutzmitteln, wie sie bei Kraftfahrzeugen benützt werden, führte zu keinem befriedigenden Ergebnis. Die angefärbte Substanz zeigte bei den Versuchsbedingungen keine konstante Absorption. Seit 26. 4. 61 ist die Anlage mit Kupfersulfatfüllung wieder in Betrieb.

Im Registrierbetrieb wurde gleichzeitig mit der stündlichen Schlumbergermessung 2 Minuten lang die Beleuchtung der beiden hintereinandergeschalteten 3,5 Volt 0,3 Ampere Linsenlampen der Schlauchwaage eingeschaltet. Die Auslenkung des Galvanometers aus der Null-Lage multipliziert mit dem Skalenwert der Anlage ergibt die Bodenhebung oder Senkung in mm.

Die Schlauchwaagenregistrierung zeigt alle Vorteile einer Differenzschaltung: Schwankungen in der Stromversorgung der Lampen B, temperaturbedingte Volumenänderungen des Verbindungsschlauches, der Bechergläser, sowie deren Füllungen kompensieren sich weitgehend. Gewisse Sorgen bereiteten die Linsen, die sich gelegentlich, besonders bei rascher Temperaturänderung, mit Feuchtigkeit beschlagen. Klarsichtmittel, wie sie im Tauchsport Verwendung finden, bewährten sich in feuchten Herbstmonaten mit wochenlanger Luftfeuchte bis 95 % ausgezeichnet.

c.) Die Ergebnisse.

Beim Betrachten der Filme fällt sofort der Tagesgang des Eigenpotentials auf der 0,6 m langen (oberflächlichen) W-E Strecke ins Auge (Tafel 3). An sonnigen Tagen ist dieser immer kräftig ausgeprägt. An teilweise bewölkten Tagen

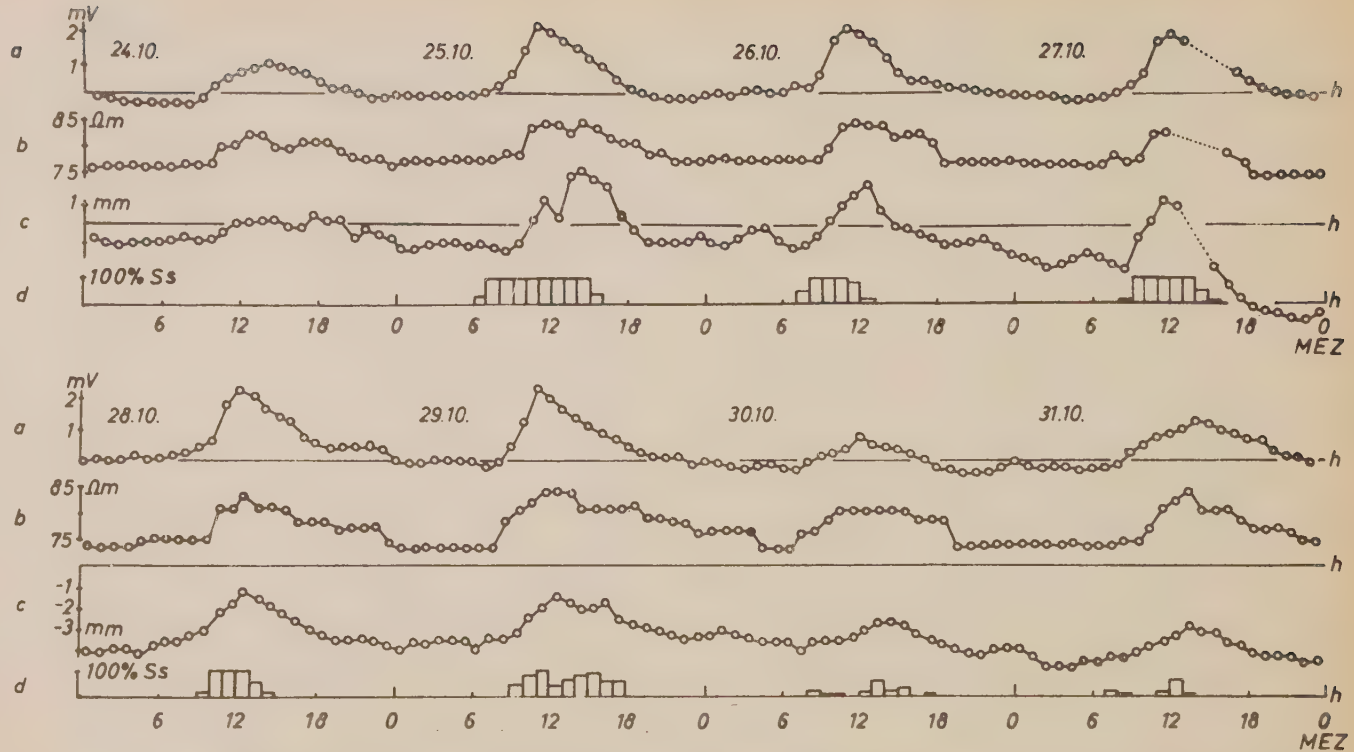


Abb. 5 Eigenpotential, scheinbarer spez. Widerstand, Bodenbewegung, Sonnenscheindauer (Ss) 24.10.-31.10.60

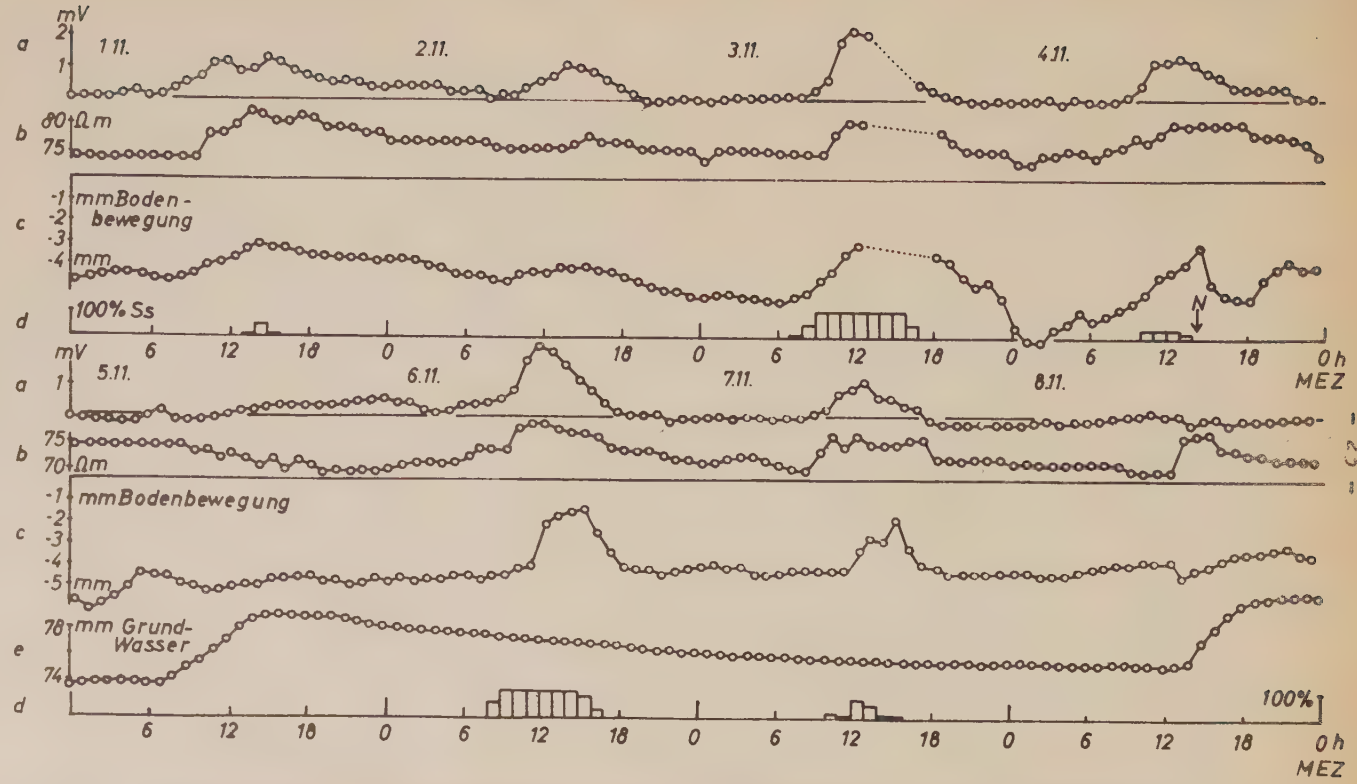


Abb. 6. Eigenpotential, scheinbarer spezifischer Widerstand des Bodens, Bodenbewegung, Sonnenscheindauer (Ss), und Grundwasserspiegel vom 1.11.1960 bis 8.11.1960.

ist er kleiner, an sonnenlosen Tagen nur schwach angedeutet. In Abb. 5 und 6 sind als Beispiele unter a die Eigenpotentialschwankungen auf der 0,6 m langen Strekke vom 24. 10. 60 bis 8. 11. 60 dargestellt. Die Potentialdifferenzen wurden dabei über Kalomel-Bezugselektroden mit Schliffdiaphragma der Firma Schott & Gen. Mainz, gemessen. Die Elektroden tauchten in einen mit konzentrierter KCl-Lösung gefüllten, einseitig geschlossenen Keramikzylinder (Berliner Porzellanmanufaktur). Der Zylinder (Durchmesser 60, Höhe 180 mm) selbst wurde mit flüssigem Paraffin bis auf eine kleine Fläche am Boden von der Größe 10 bis 20 mm^2 abgedichtet.

Dem Galvanometerstand am 24. 10. 1960, 28. 10. 1960, 1. 11. 1960 und 5. 11. 1960 jeweils um 0 Uhr wurde per definitionem der Potentialwert Null zugeordnet. Tatsächlich befand sich der Lichtzeiger des Galvanometers bei nicht angeschlossenen Elektroden am Rande des Filmes (registrieren bei unterdrücktem Nullpunkt). An den in Abb. 5 und 6 dargestellten Tagen betrug die konstant vorhandene Potentialdifferenz etwa 2 mV. Man beachte, wie trotzdem um Mitternacht fast stets die Potentialdifferenz den Definitionswert Null annimmt. Es ist noch zu bemerken, daß die östliche Kalomelelektrode (nunmehr abgekürzt mit Hg_a E) tagsüber einen positiven Wert gegenüber der westlichen (Hg_a W) annahm. Mit anderen Worten: die in Abb. 5 und 6 dargestellten Potentialkurven geben Potentialwerte der östlichen Elektrode bezogen auf die westliche als Bezugselektrode. Das wird später noch von Bedeutung sein.

Unter der Potentialkurve a (Abb. 5 und 6) ist der scheinbare spezifische Widerstand b des Moorbodens in Ohm-Metern wiedergegeben. Er wurde nach der in 3 b beschriebenen Weise errechnet. Hg_a E und Hg_a W dienten als Sonden. Aus der Abb. 5 und 6 ist ein enger Zusammenhang zwischen dem Widerstand des Bodens und dem Eigenpotential ersichtlich.

Einen Zusammenhang mit diesen Größen weist auch die vertikale Bewegung des Moorkörpers (c der Abb. 5 und 6) bezogen auf den mineralischen Untergrund auf. Dieses "Atmen" des Moorkörpers ist in Abb. 5 und 6 unter dem scheinbaren spezifischen Widerstand b dargestellt. Der Boden hebt sich bei Schönwetterlage um einige mm mit dem Maximum stets einige Stunden nach Mittag und sinkt in der Nacht einige Zehntel mm tiefer als in der vorhergehenden Nacht. Das von H. VIDAL (1960) festgestellte Schrumpfen des Moorkörpers während Schönwetterperioden ist in Abb. 5 und 6 klar ersichtlich. Der Boden hat sich zwischen dem 24. 10. 0 Uhr und dem 8. 11. 60 Null-Uhr etwa um 7 mm gesenkt. Eine Grundwasserpegelregistrierung auf Bernau 2, ca. 800 m westlich Bernau E I, zeigt um 13,20 h am 4. 11. einen geringfügigen Anstieg (Abb. 6 bei Pfeil N). Gleichzeitig zeigt auch die Schlauchwaage auf Bernau E I eine Hebung des Torfkörpers an. Am 5. 11. fallen bei bewölktem Himmel nach 6 Uhr weitere Niederschläge. Wie Abb. 6 unten bei "Grundwasser" (e) erkennen läßt, steigt der Grundwasserspiegel, während das Eigenpotential keinen merklichen Tagesgang aufweist. Der Widerstand nimmt stetig etwas ab, der Boden beginnt sich zu heben. Trotz des schönen Wetters am 6. 11. - mit üblicher Potential - und Widerstandszunahme sowie Bodenhebung während des Tages - läßt die Abb. 6 ein Anheben des Bodens über mehrere Tage erkennen. Man beachte, daß dieses Anheben bei fallendem Grundwasser auch am 7. 11. mit nur wenigen Stunden Sonnenschein anhält. Am 8. 11. um etwa 13 Uhr setzen wieder Niederschläge ein. Es wiederholen sich ähnliche Vorgänge wie am 5. 11. 60.

Die Kurve d gibt die "Stundenwerte der Sonnenscheindauer". Die Registrierungen wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft bei Bernau 3 vorgenommen.

Zusammenhänge , wie die eben beschriebenen, wiederholten sich mit vielfältiger Variation entsprechend den ver-

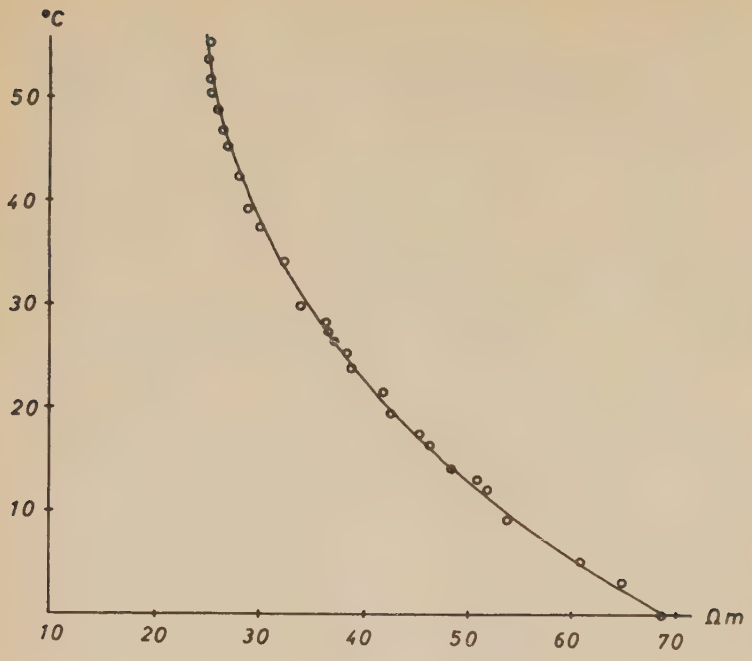


Abb. 7

TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DES SPEZIFISCHEN WIDERSTANDES VON MOORWASSER.

Das Diagramm wurde unter Verwendung eines Leitgefäßes (Tauchelektrode) der Wissenschaftlich-Technischen Werkstätten, Weilheim Obb. und einer Wechselstrombrücke (Pontavi) von Hartmann & Braun gewonnen.

schiedenen Wetterlagen in der Registrierzeit von März 1960 bis Winter 1961 - 62. Sie alle unter Berücksichtigung der meteorologischen und hydrologischen Messungen der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft anzuführen, würde weit über den Rahmen vorliegender Darstellung hinausgehen. Das Beobachtungsmaterial steht zur Einsicht bereit. Der Verfasser hofft, an anderer Stelle davon etwas veröffentlichen zu können.

Es soll versucht werden, die mehrfach bestätigten und in Abb. 5 und 6 dargestellten Tatsachen zu deuten. Die Zunahme des Widerstandes bei Austrocknung des Bodens scheint leicht erklärbar. Es ist dabei zu beachten, daß Grundwasserpegelregistrierungen auf Bernau 1 (Feßler), Bernau 2 (Kühwampen) und seit Frühjahr auch auf Bernau 4 (Bernau E I) an Schönwettertagen stets ein Absinken des Grundwasserspiegels ergeben (Tafel 2, Mitte). Der Widerstand wächst einerseits durch oberflächliches Austrocknen, anderseits durch Verlagerung des gut leitenden Grundwasserspiegels nach unten an. Umgekehrtes gilt bei Niederschlägen. Dieser Widerstandszunahme wirkt eine Widerstandsabnahme durch Tageserwärmung des Bodenelektrolyten entgegen. Man vergleiche hierzu die starke Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes von Moorwasser in Abb. 7. Die Werte wurden unter Verwendung einer Tauchelektrode (z.B. MÜLLER-REUTHER 1953) der Wissenschaftlich- Technischen Werkstätten (WTW) Weilheim Obb. und einer Wechselstrombrükke von Hartmann & Braun gewonnen. Eingehende Beobachtungen von Temperaturschwankungen in Mooren hat H. SCHMEIDL 1960 veröffentlicht. Größere Schwankungen sind nur bis in geringe Bodentiefe festzustellen.

Eine Eigenpotentialschwankung bei einer Widerstandsänderung ist leicht zu erklären, wenn wir uns vorstellen, daß die Elektroden Potentialabgriffe an einem stromdurchflossenen Leiter veränderlichen Widerstandes bilden. Der gesamte Widerstand des körperlichen Leiters vergrößert

sich, das Potential wächst an, sofern das Stromfeld unverändert bleibt. Die Diskussion über die Ursache des Stromes soll dabei zunächst noch zurückgestellt werden.

Bei Schönwetterlage trocknet der Boden aus, der Grundwasserspiegel sinkt ab. Der Boden erwärmt sich. Nach den Ergebnissen der Abb. 6 müßte man mit einer Abnahme des Bodenwiderstandes rechnen. Tatsächlich nimmt jedoch der Widerstand zu. Alles spricht für eine Verarmung des Bodens an Feuchtigkeit. Trotzdem zeigt die Schlauchwaage eine kurzzeitige Hebung des Moorkörpers an. Nach Beobachtungen von H. VIDAL (1960 a, b) verlangt jedoch die Hebung des Moorkörpers eine Feuchtigkeitszunahme.

Eine starke Evapotranspiration (z.B. R. GEIGER 1960, G. HOFMANN 1960) an Sonnentagen läßt ein kapillares Aufsteigen von Wasser aus dem Grundwasservorrat als naheliegend erscheinen. Die Grundwasserregistrierungen zeigen an solchen Tagen ein Absinken des Grundwasserspiegels um einige Zentimeter (Abb. 10, Tafel 2). Damit es zu einem Feuchtigkeitsaufstieg kommt, ist es erforderlich, daß die Oberfläche austrocknet. Das aufgestiegene Bodenwasser bewirkt ein Quellen der zellulosehaltigen Moorsubstanz, das stärker ist als das Schrumpfen durch oberflächliche Austrocknung. Der Moorkörper quillt und hebt sich kurzzeitig, wenngleich er bei Schönwetterlage durch Wasserverlust insgesamt eine fallende Tendenz zeigt. Die Grundwasserspiegelregistrierung bei Schönwetterlage bestätigt dies: an einem Sonnentag im Juli sinkt der Grundwasserspiegel in der Zeit von 8 bis 17 Uhr stark ab. Man beobachtet ein Ausklingen bzw. einen Stillstand, ja sogar ein leichtes Ansteigen des Grundwasserspiegels zwischen 20 bis 8 Uhr (siehe auch Abb. 10 und Tafel 2). Kapillar aufgestiegenes Wasser "fällt" durch Nachlassen der Verdunstung und des Dampfdruckes in den Grundwasservorrat zurück. Man könnte auch an Kondenswasserbildung in Form von Tau denken. F. WILHELM (1960)

hält ein beträchtliches Anheben des Grundwassers (hier bis zu 4 mm) für möglich.

Kapillare Wasserbewegungen können für das Auftreten von Eigenpotentialen verantwortlich gemacht werden. Es gilt: $\mathfrak{E} = j/\sigma$; $\mathfrak{E}$ = elektrische Feldstärke; j = Stromdichte; σ = Leitfähigkeit. Ob sich nun j allein bei konstantem σ an der Oberfläche, oder ob sich σ an der Oberfläche allein (bei konstantem j) ändert, oder ob sich j und σ (an der Oberfläche) zugleich ändern, kann mit Hilfe der durchgeführten Messungen nicht entschieden werden. Im Laboratoriumsversuch ergeben sowohl Widerstandsänderung als auch Änderung der Flüssigkeitsströmung in Kapillaren wechselnde Eigenpotentiale. Ich werde später noch auf solche Versuche wie auch auf den Begriff Kapillare kurz zu sprechen kommen. - Wahrscheinlich bewirken Änderung des Widerstandes und der Flüssigkeitsströmung zusammen im Boden eine Potentialschwankung.

Registrierungen mit verschiedener Elektrodenanordnung wurden vorgenommen. Die Elektrodenanordnung ist unter II in Abb. 9 schematisch wiedergegeben. Dazugehörige charakteristische Eigenpotentialschwankungen sind in Spalte I der Abb. 9 dargestellt. Einige zusammenhängende Registrierbeispiele finden sich auf Tafel 1 und 2. In Abb. 10 wird die Potentialumkehr der Abb. 9 e unter Berücksichtigung von Grundwasserpegelregistrierungen erörtert.

Zum Verständnis der Abb. 9 und 10 sowie der Tafeln 1 und 2 wird folgender Modellversuch durchgeführt.

Ein 400 mm langes Plexiglasrohr von etwa 40 mm Innendurchmesser wird mit einer möglichst ungestörten Torfprobe gefüllt. Die Probe entnahm ich nahe der Registrierstelle Bernau E I. Das ist trotz Metallstechrohren sehr schwierig. "In praxi" stopft man das Rohr mit Torf voll. Der natürliche Verband des Torfes wird dabei allerdings völlig zerstört. Zu meinem Versuch entnahm ich dem Torfkörper an gleicher Stelle noch einige Liter Moorwasser (Bodenlösung). Den Versuchsaufbau zeigt die Abb. 8. Das

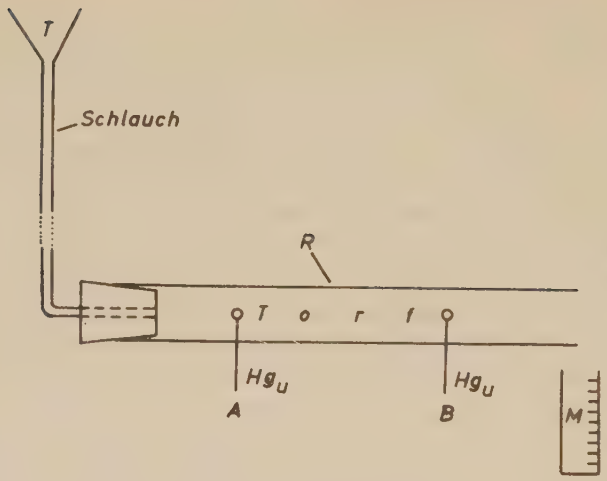


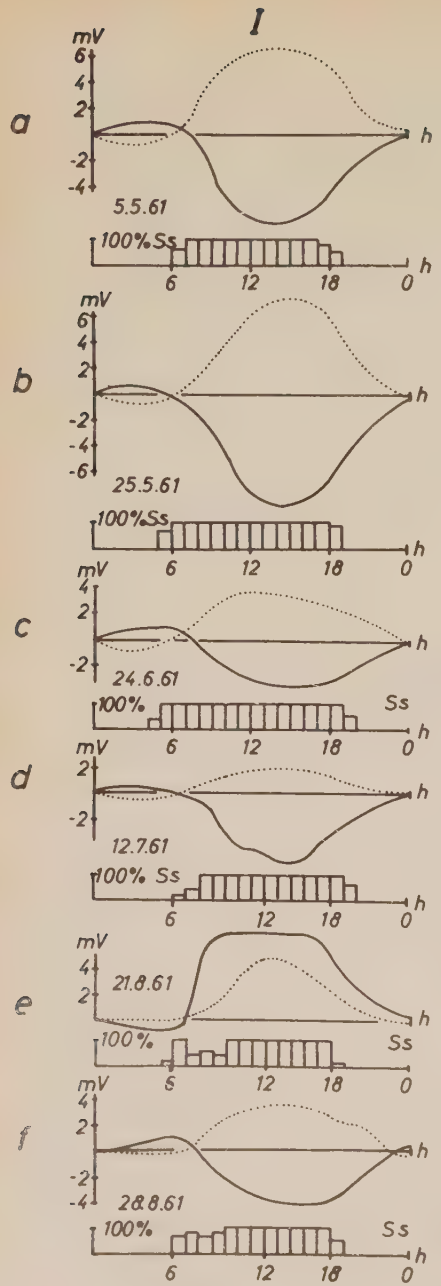
Abb. 8

MODELLVERSUCH ZU STRÖMUNGSSPANNUNGEN IN MOORKÖRPERN.

Das Rohr R wurde mit Torf gefüllt. A und B stellen Potentialabgriffe über Kalomel-u-Elektroden dar. T wurde mit Moorwasser gefüllt. Das Trichtergefäß T wird etwa 0,6 m über das Plexiglasrohr R gehoben. Moorwasser sickert durch den Torf und konnte in dem Meßbecher M aufgefangen werden. Acht Stunden nach Anheben von T zeigte A -1o mV gegen B. Nach 14 Stunden wuchs die Spannung auf -15 mV an und blieb konstant. In dieser Zeit "filtrierten" 300 cm^3 Moorwasser durch den Torf. Nach Senken von T nahm die Spannung nach einiger Zeit wieder den Wert null an.- Der Versuch wurde zweimal durchgeführt, das erste Mal mit einer möglichst ungestörten Torfprobe, beim zweiten Mal wurde auf den natürlichen Verband des Torfes keine Rücksicht genommen. Beide Versuche zeigten quantitativ gleiche Ergebnisse.

Rohr wurde einseitig mit einem durchbohrten Gummipfropfen verschlossen. Ein in den Pfropfen eingeführtes Glasrohr wird über einen Schlauch mit einem Trichter verbunden. Wird der Trichter mit Moorwasser gefüllt und über das Plexiglasrohr gehoben, so strömt Flüssigkeit durch die "Kapillaren" des Torfes und erzeugt Strömungsspannungen, die an den Abgriffen A und B der Abb. 8 gemessen werden können. Bei diesem Versuch wurden Kalomelbezugselektroden mit Schliffdiaphragma der Firma Schott & Gen. Mainz (Type 9840/12) eingesetzt. Diese Elektroden wurden in eine mit konzentrierter Kaliumchlorid-Lösung gefüllte Plexiglasarmatur ohne jedes weitere Diaphragma eingebaut. Die elektrisch leitende Verbindung zum Meßobjekt stellt ein Glasrohr mit Innendurchmesser von etwa 3 mm dar. Diese Elektrode sei Kalomel- oder Quecksilber - u - Elektrode genannt. Sie bewährte sich bei diesem Versuch dank ihres geringen Widerstandes gut. - Zu Beginn des obengenannten Versuches zeigte der Kompensator an den Elektroden das Potential null. Das Trichterglas wurde 600 mm über das Rohr gehoben. Nach etwa 8 Stunden zeigte die Elektrode A ein negatives Potential gegen die Elektrode B. Die Spannung betrug - 10 mV und erhöhte sich auf - 15 mV nach 6 weiteren Stunden. Bis zu dieser Zeit waren etwa 300 cm^3 Moorwasser durch den Torf gesickert. Beim Senken des Trichters nahm die Spannung nach einiger Zeit wieder den Wert null an. Leider konnte dieser Versuch nicht registriert werden, da geeignete Geräte nicht zur Verfügung standen.

Der Versuch lehrt: das Wasser lädt sich bei der "Filtration" durch den Torf positiv auf. Die Flüssigkeitseintrittstelle (Abb. 8) zeigt ein negatives Potential gegen die Austrittsstelle. Dieses Ergebnis steht in gutem Einklang mit dem Coehn'schen Ladungsgesetz, sofern Moorwasser eine höhere Dielektrizitätskonstante besitzt als Torf. E. POLDINI (1938) schreibt: In den meisten Fällen erzeugt Elek-



●— Hg_u = Kalomelelektrode ohne Tonzylinder (Keramikdiaphragma)

○····Hg_a = Kalomelelektrode im Tonzylinder, bleibt in vorliegender Abb. unverändert.

Potential auf der 0,6m WE-Strecke. Hg_a u. Hg_u oberflächlich aufgesetzt.

Hg_u W 250 mm in den Torfkörper eingeführt. (Praktische Durchführung siehe 3 c .)

Hg_u E 250 mm in den Torfkörper eingeführt.

Hg_u E 600 mm in den Torfkorper eingeführt.

Hg_u E 600 mm in den Torfkörper unter Hg_u W in den Torfkörper eingeführt.

Hg_u W u. Hg_u E nun wieder im Abstand von 0,6 m 600 mm in den Torfkörper eingeführt.

Abb. 9. Charakteristischer Eigenpotentialgang I bei verschiedener Elektrodenanordnung II.

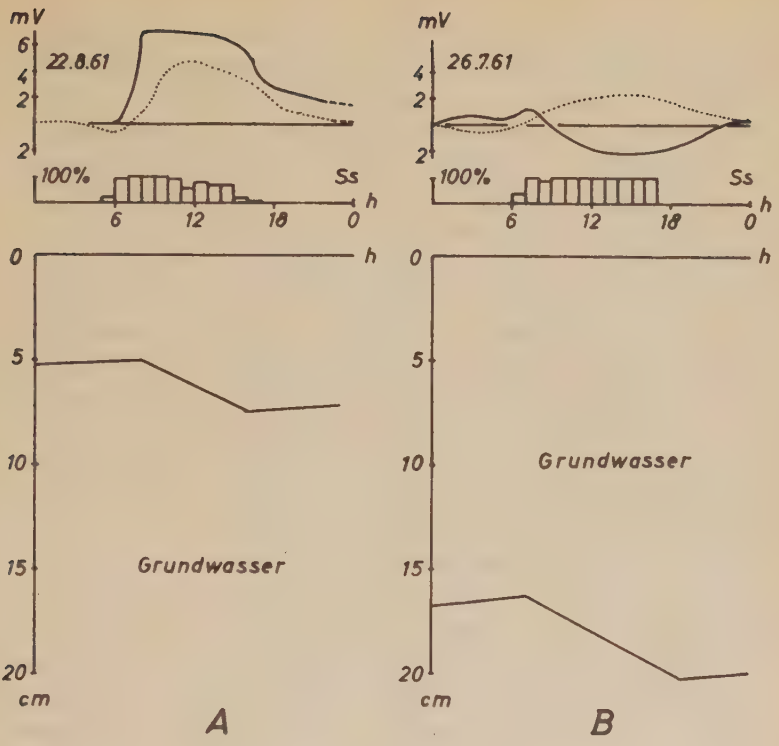


Abb. 10

Die beiden Eigenpotentialschwankungen der Darstellungen A und B (ausgezogene Kurve) wurde an Schönwettertagen mit gleicher Anordnung der Kalomel-u-Elektroden registriert. Die"östliche" Elektrode befand sich 0,6 m senkrecht unter der "westlichen" (Abb. 9 II e). Die Kurven unter A wurden bei hohem Grundwasserstand, die unter B bei niederem Grundwasserstand beobachtet. Bei der Darstellung "Grundwasser" wurde mit 0 cm die geschätzte Höhe der Kontaktstelle der oberen Elektrode mit dem Boden bezeichnet. Mit Ss sind wieder die Stundenwerte der Sonnenscheindauer bezeichnet.

trokapillarität durch absinkende Flüssigkeit eine negative Reaktion an der Oberfläche, durch aufsteigende Flüssigkeit eine positive Reaktion.

Das wichtige Ergebnis sei noch einmal festgehalten: Sickert Moorwasser durch Torf, so erhält der "Kapillarenanfang" (Flüssigkeitseintritt) ein n e g a t i v e s elektrisches Potential gegenüber dem "Kapillarende" (Flüssigkeitsaustritt).

Eine Bemerkung ist noch zu dem Begriff "Kapillare" zu machen. Sicher darf man sich beim Moor und bei den Gesteinen eine Kapillare nicht als ein dünnes Rohr vorstellen, ein Kapillarsystem als ein Bündel solcher Röhren, bei denen man nur am Anfang und Ende Spannungen messen kann (F. WILKENS 1957). Der oben geschilderte Versuch zeigt, daß es genügt, wenn eine Flüssigkeit durch Materie in einer Vorzugsrichtung sickert, um Strömungsspannungen hervorzurufen, die auch tatsächlich gemessen werden können. Im Moor wie im Gestein liegt meist ein dreidimensionales System von untereinanderliegenden Porenräumen vor.

Mit einer, besser noch zwei Drei - Komponentenstationen mit verschiedenen Elektrodenabständen kann man Wasserbewegungen im Torfkörper studieren. Da leider weder die notwendigen Elektroden, noch Galvanometer, noch Registrierkassetten zur Verfügung standen, konnten die Versuche, deren Ergebnisse Abb. 9 und 10 sowie Tafel 1 und 2 darstellen, nicht gleichzeitig durchgeführt werden. Einzelne Tagesgänge des Potentials in Abb. 9 und 10 sind daher ihrer absoluten Größe nach untereinander nicht vergleichbar.

Die punktierten Linien der Abb. 9 I a bis f sowie Abb. 10 A und B zeigen den Potentialverlauf der in Tonzylindern eingebauten Kalomelelektroden auf der 0,6 m langen Strekke. Die Elektroden (Hg_a) sind oberflächlich aufgesetzt und blieben stets unverändert.

Die ausgezogene Kurve zeigt den täglichen Gang des Potentials zwischen zwei Kalomel- u-Elektroden (siehe oben).

Sie wurden gemäß der Abb. 9 II verändert. Ausgezogene und punktierte Kurven des selben Tages sind bei gleicher Elektrodenanordnung untereinander vergleichbar. Bei sämtlichen Darstellungen (Abb. 6, 7, 9. 10, Tafel 1 und 2) diente die westliche Elektrode (Hg_a W und Hg_u W) als Bezugselektrode.

Stehen Hg_a und Hg_u oberflächennah, so zeigt der Tagespotentialverlauf (abgesehen vom Vorzeichen) nahezu gleiche Form. Wird Hg_u W oder Hg_u E (Abb. 9 b und c) in den Boden eingeführt - die Elektrode bleibt dabei an der Oberfläche, nur ein mit KCl Lösung gefülltes Rohr mit etwa 3 mm Durchmesser wird eingeführt - so treten außer einer kleinen Verschiebung der Extrema der punktierten Kurve gegen die ausgezogene keine wesentlichen Änderungen ein. Anders werden die Verhältnisse, wenn man eine Hg_u 600 mm tief (Abb. 9 II d) in den Boden vortreibt. Die ausgezogenen Kurven von a und d sprechen für eine täglich schwankende horizontale Wasserbewegung von E nach W. Bei einer Elektrodenanordnung der Abb. 9 II d macht sich ein weiterer Effekt bemerkbar, der noch deutlicher wird bei einer Anordnung II e wie I e zeigt. Werden beide Hg_u in 600 mm Tiefe vorgetrieben, so wird man wegen der Ähnlichkeit zu a auf eine Flüssigkeitsbewegung in W E Richtung schließen (Abb. 9 f).

Es gilt die ausgezogene Kurve von Abb. 9 II e zu deuten. Mit der Elektrodenanordnung II e wurde vom 18. 7. bis 24. 8. 61 beobachtet. - Bei Durchsicht des Registriermaterials findet man an Schönwettertagen, daß Hg_u E tagsüber gelegentlich einen relativ großen positiven Wert annimmt, so in Abb. 9 I e, manchmal einen sehr viel kleineren positiven Wert, wie Tafel 2 e erkennen läßt und gelegentlich negative Werte aufweist, wie etwa am 26. 7. 61 in Abb. 10 B. Dieses Verhalten der Hg_u-Kurve ist auf einen Integraleffekt zurückzuführen. An Schönwettertagen und bei hohem Grundwasserstand,wie am 21. 8. 61 (Abb. 9 I e) und am 22. 8. 61

(Abb. 10 A) überwiegt die Strömungsspannung, die durch Absinken des Grundwassers hervorgerufen wird. Wasserbewegung nach unten erzeugt durch erhöhte Evapotranspiration an Sonnentagen bei der getroffenen Anordnung einen positiven Tagesgang, kapillar aufsteigendes Wasser erzeugt einen negativen Tagesgang (Abb. 10 B). Bei tiefem Grundwasserstand ist die durch aufsteigendes Wasser hervorgerufene Strömungsspannung größer als jene, die durch Absinken des Grundwassers entsteht. Das ist in Abb. 10 B der Fall.

Am 6. 8. 61 setzen (Tafel 2e) um 23 Uhr kurze, starke Niederschläge ein. Der Grundwasserspiegel wird innerhalb weniger Minuten um 50 mm angehoben. Das in den Boden einsickernde Regenwasser (deszendente Wasserbewegung) erzeugt eine schwächere Strömungsspannung als das dadurch verursachte Anheben des Grundwasserspiegels (aszendente Wasserbewegung). Hg_u nimmt sprunghaft ein negatives Potential an. Es ist eine bekannte Tatsache, daß stark ausgetrockneter Torf mehrere Tage benötigt um Feuchtigkeit aufzunehmen, manchmal sogar kein Wasser aufzunehmen vermag (Irreversibilität der Torfkolloide). Nach einer Schönwetterperiode"durchfällt" Regenwasser schnell die ausgetrockneten oberflächennahen Schichten des vorentwässerten, rissigen Moores und erzeugt eine nur geringe Strömungsspannung. Anders ist es beim Grundwasseranstieg in dem nicht ausgetrockneten Torf tieferer Schichten, die noch zusätzlich Feuchtigkeit gut aufnehmen können.

An der Oberfläche aufgesetzte Elektrodenpaare Hg_a und Hg_u zeigen einen gegensinnigen Potentialgang (siehe Abb. 9a und b). Um die Verhältnisse zu klären, müßten wesentlich mehr Geräte eingesetzt werden, als dies möglich war.

Fassen wir noch einmal kurz die letzten Ergebnisse zusammen: Wasserbewegungen im Torfkörper erzeugen meßbare Strömungsspannungen. Der elektrische Potentialgradient fällt mit der Richtung der Flüssigkeitsströmung zusammen. Potentialschwankungen an Schönwettertagen entstammen einem

Integraleffekt. Auf die Oberfläche aufgesetzte Kalomel - u - Elektrodenpaare lassen in obigem Fall in ihren Potentialregistrierungen eine Flüssigkeitsströmung von Osten nach Westen erkennen. Das steht in gutem Einklang mit Beobachtungen der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft. Das beobachtete Potential kann durch tägliche Widerstandsänderungen stark beeinflußt werden. - Auf einer Vertikalstrecke an Schönwettertagen beobachtete Potentialschwankungen werden erzeugt durch Überlagerung von:

1. Strömungsspannungen durch Grundwasserabsinken (deszendente Wasserbewegung) und
2. Strömungsspannungen durch kapillaren Flüssigkeitsaufstieg (aszendente Wasserbewegung).

Bei hohem Grundwasserstand überwiegt der 1. Effekt, bei niederem Grundwasserstand der 2.

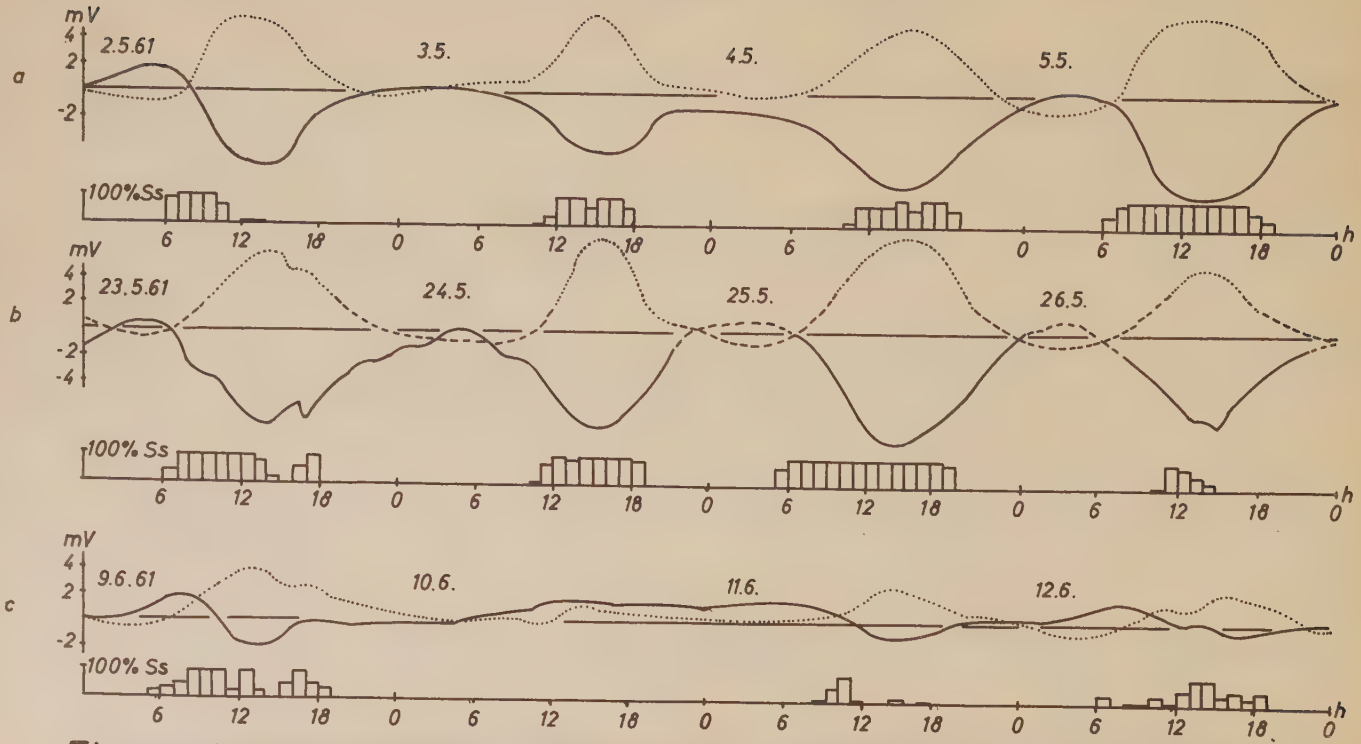
d.) Fehlerquellen.

An eventuellen Fehlerquellen wäre eine beträchtliche Zahl anzuführen. Hier soll jedoch in Ermanglung entsprechenden Platzes nur auf eine verwiesen werden: Polarisationsspannungen an den Elektroden. Eigenpotentialmessungen haben leistungslos zu erfolgen. Das kann durch eine Kompensationsschaltung bei Einzelmessungen erreicht werden. Ein Röhrenvoltmeter löst das Problem in idealer Weise. Beides ist im Dauerregistrierbetrieb ohne Netzanschluß nur mit größerem Aufwand zu erreichen. So ist es von erheblicher Bedeutung zu wissen, ab welchem Stromfluß durch die Elektroden eine Verfälschung der Registrierungen durch störende Polarisation eintritt. Laboratoriumsversuche und Dauerregistrierungen zeigten, daß bei einem Strom von 10^{-8} A durch die verwendeten Elektroden keine Verfälschung durch Polarisation auftritt. Erst bei Strömen größer als 10^{-6} A treten Störspannun-

nungen sowohl bei der Kalomelbezugselektrode als auch bei der Kupfer/Kupfersulfatelektrode auf.

Vorliegende Arbeit konnte das Auftreten von Strömungsspannungen in der Natur nicht annähernd erschöpfend untersuchen und erklären, ja kaum das Auftreten solcher Strömungsspannungen in Torflagerstätten. Immerhin hofft der Verfasser, einen Beitrag zu diesem Problemkreis geliefert zu haben. Er glaubt gezeigt zu haben, daß, zumindest für Torflagerstätten, n i c h t die Möglichkeit entfällt "in erster Linie elektrokinetische Vorgänge heranzuziehen" (F. WILKENS 1957), um Eigenpotentiale und deren Schwankungen zu erklären, daß vielmehr die von E. POLDINI (1938) in Serbien gefundene Potentialumkehr gewisser Berggipfel einer Umkehr der Wasserbewegung zuzuschreiben ist. In kleinstem Maßstab läßt sich fast täglich eine solche Umkehr im Moor wieder finden.

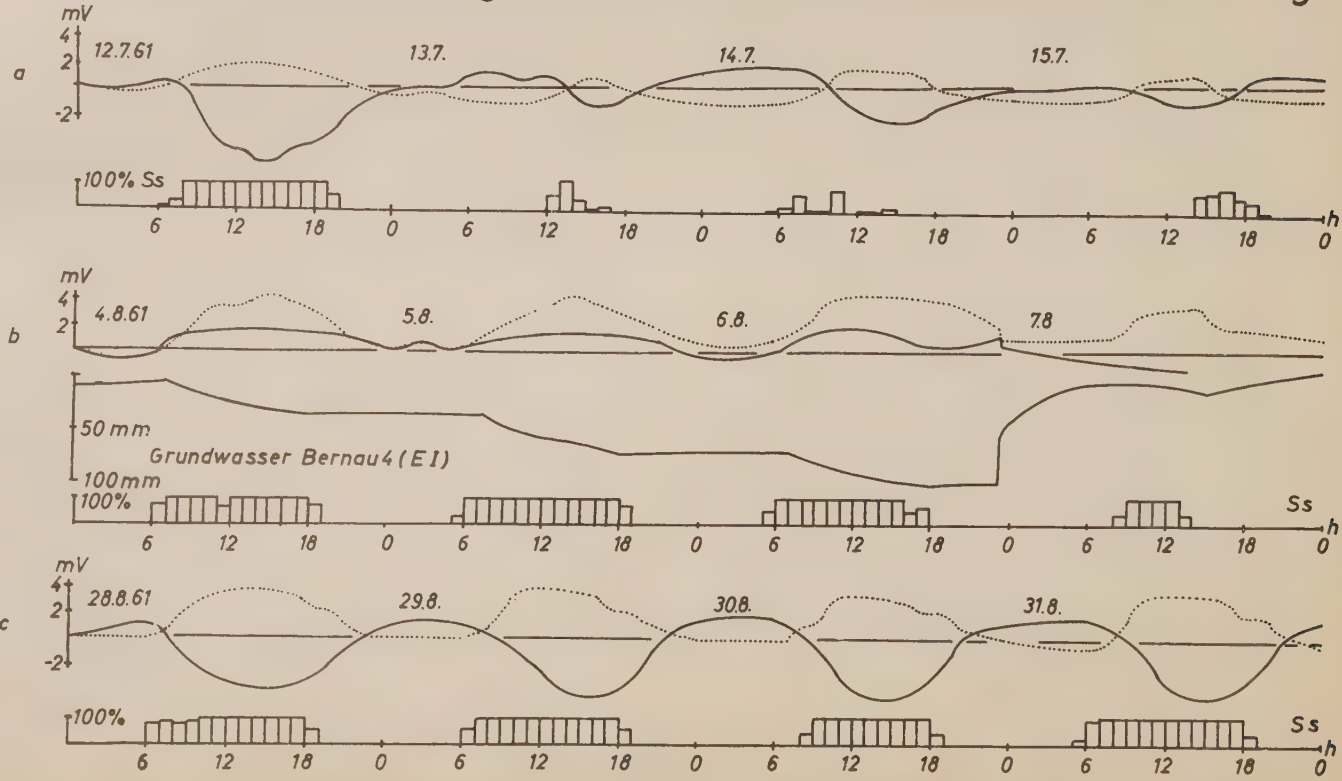
Tafel 1



Eigenpotentialschwankung im Moor bei verschiedener Elektrodenanordnung.

Tafel 2

Eigenpotentialschwankung im Moor bei verschiedener Elektrodenanordnung.



T A F E L 3

Charakteristische Schwankungen des Eigenpotentials an Schönwettertagen auf einer 0,6 m langen W-E-Strecke.

A = Potentialregistrierung auf einer 0,6 m langen W-E-Strecke
Man beachte die Auslenkung bei der stündl. Widerstandsmessung.
B = Stündliche Strommessung bei der Widerstandsbestimmung.

Die Kurven a und b wurden auf zwei 90 und 40 m langen Parallelstrecken zur Erprobung von Elektroden registriert.

Danksagungen.

Vieles mußte bei den Experimenten und Registrierungen behelfsmäßig durchgeführt werden. Manches Problem erschien anfänglich unlösbar. Bei allen zu überwindenden Schwierigkeiten stand mir mein hochverehrter Lehrer Herr Professor Dr. G. Angenheister, Vorstand des Instituts für Angewandte Geophysik der Universität München , zur Seite. Für alle Unterstützung und Förderung meinen aufrichtigen Dank! - Sehr wertvolle Anregungen erhielt ich von Herrn Professor Dr. L. Brauner, Vorstand des Botanischen Instituts der Universität München während lehrreicher Unterhaltungen, wofür ich an dieser Stelle vielmals danke.

Ohne Unterstützung der Bayerischen Landesanstalt für Landkultur und Moorwirtschaft hätte die Arbeit in vorliegender Form nicht zustande kommen können. Seit Sommer 1961 ist neben meiner Registrierstation ein für meine Belange umgebautes Grundwasserpegelregistriergerät der Landesanstalt in Betrieb. Es ermöglichte sehr wertvolle Vergleiche. Außer diesen Registrierungen standen mir sämtliche Registrierdaten von drei meteorologischen und hydrologischen Stationen im Gebiet der südlichen Chiemseemoore zur Verfügung. Herrn Oberregierungsrat Dr. H. Vidal, dem Leiter der Abteilung für Boden- Wasser- und Torfwirtschaft der Landesanstalt, sei für alle Unterstützung und stete Hilfsbereitschaft bei den zu bewältigenden Problemen herzlich gedankt. Besonderen Dank schulde ich auch dem Leiter der Moorforschungsstelle Bernau Herrn Dr. H. Schmeidl für stete Hilfsbereischaft während der bisher 95 Arbeitstage, die ich in Bernau

verbrachte. Von bisher 94 Fahrten nach Bernau konnte ich 42 mit dem Fahrzeug der Deutschen Forschungsgemeinschaft vornehmen. Ihr und Herrn Professor Dr. G. Angenheister, der mir die Erlaubnis zu den Fahrten erteilte, meinen besten Dank! Nicht zuletzt möchte ich Herrn Dr. Helbig, wiss. Ass., für wertvolle Verbesserungsvorschläge danken.

Haag i. OB., den 19. 11. 1961.

Der Verfasser.

ZUSAMMENFASSUNG: Es wurde das Problem der Elektroden diskutiert. Die über Mooren festgestellten Potentialdifferenzen wurden sowohl über Kupfer/Kupfersulfat-Elektroden als auch über Kalomel-Bezugselektroden gemessen. Bei der Kalomel-Bezugselektrode werden durch ihre KCl-Brücke eventuell auftretende Diffusionspotentiale zwischen Elektrode und Boden ausgeschaltet. Die über Kupfersulfatelektroden gemessenen Potentialdifferenzen zwischen zwei ungestörten Punkten des Erdbodens (Wiesen, Felder, Wälder) beträgt maximal $\pm$ 5 mV. Die Punkte können dabei mehrere hundert Meter auseinander liegen. Die hier untersuchten Moorvorkommen zeigen gegenüber den mineralischen Böden der Umgebung ein negatives Potential bis maximal 120 mV. Die über Moorkörper und an Torfstichwänden festgestellten Eigenpotentiale konnten im wesentlichen auf ein Diffusionspotential zwischen Stellen des Bodens mit unterschiedlichem pH-Wert zurückgeführt werden (Mineralboden pH 7; Moorboden pH 3). Die pH-Werte von Moorkörpern zeigen über mehrere Jahre keine meßbaren Schwankungen. Eine mangelnde Reproduzierbarkeit der Potentialwerte läßt weitere zeitlich variable Spannungsquellen vermuten.

Registrierungen auf den südlichen Chiemseemooren zeigten: Über oberflächlich aufgesetzte Elektroden im Horizontalabstand von 0,6 m und an Elektrodenpaaren in vertikaler Anordnung (Abstand 0,1 bis 0,6 m variiert) beobachtet man an Schönwettertagen zeitlich variable Potentialschwankungen. Sie werden verursacht:

1. Durch eine Änderung des scheinbaren spezifischen Widerstandes des Bodens.
2. Durch eine Wasserbewegung
   a) in Richtung eines Entwässerungsgrabens (horizontal)
   b) in vertikaler Richtung durch kapillar aufsteigendes Wasser (aszendente Wasserbewegung) und durch Absinken des Grundwasserspiegels an Schönwettertagen (deszendente Wasserbewegung).

Bei hohem, aber relativ rasch absinkendem Grundwasserspiegel (an Schönwettertagen nach starken Regenfällen) ist die durch deszendente Wasserbewegung hervorgerufene Strömungsspannung größer als jene durch aszendente Bewegung. Bei niederem Grundwasserstand ist es umgekehrt.

Angeführte Schriften.

ANSCHÜTZ, I.: Der Ionenaustausch bei Torfmoosen (Sphagnum). - Z. Flora,141, S. 178-236, Jena 1954. - [Siehe auch GESSNER]

BARTELS, J.: Geophysik. - Fischerbücherei, Frankfurt/M 1960.

BUCHHEIM, W.: Lehrbuch der angewandten Geophysik II,Berlin 1958. - [Siehe auch HAALK]

CAGNIARD, L.: Électricité tellurique. - Handbuch der Physik, XLVII, Geophysik I, 1956.

GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschichten. - Die Wissenschaft,78, Braunschweig 1961.

GESSNER, R.: Der Ionenaustausch bei Torfmoosen (Sphagnum). - Z. Flora, 141, S. 178-236, Jena 1954. - [Siehe auch ANSCHÜTZ]

HAALK, H.: Lehrbuch der angewandten Geophysik II, Berlin 1958.

HOFMANN, G.: Meteorologisches Instrumentenpraktikum. - Universität München - Meteorologisches Institut, München, September 1960.

HOHENSTATTER, E.: Bodenphysikalische und hydropedologische Untersuchungen an bayerischen Moorprofilen - Z. Mitteilungen für Landkultur, Moor- und Torfwirtschaft, S. 18-32, München, Bonn, Wien, Dezember 1959.

JUNG, K.: Angewandte Geophysik. - Bücher der Technik, Hannover 1948.

KORDATZKI, W.: Taschenbuch der praktischen pH-Messung. - München 1949.

MÜLLER, E.: Elektrochemisches Praktikum. - Dresden und Leipzig 1953.

POLDINI, E.: Les phénomènes de la polarisation spontanée électrique du sous-sol et leur application à la recherche des gîtes métallifères. - Mémoires de la société vaudoise des sciences naturelles, Vol. 6,No1, Lausanne 1938.

[Siehe auch POLDINI 1941]

POLDINI, E.: La Prospection électrique du sous-sol. - Quelques résultats d'explorations par courant continu, Lausanne 1941.

-- -- -- : Étude préliminaire des courants électriques naturels liés au Carbonifère de la région de Salins, près de Sion (Valais). - Genève 1947.

PORSTENDORFER, G.: Tellurik, Grundlagen und Anwendungen. - Freiburger Forschungshefte C16, Berlin 1954.

REUTHER, H.: Elektrochemisches Praktikum. - Dresden und Leipzig 1953. [Siehe auch MÜLLER]

SCHINTELMEISTER, J.: Die Elektronenröhre als physikalisches Meßgerät. - Wien 1942.

SCHMEIDL, H.: Ergebnisse vergleichender Klimabeobachtungen auf unberührten und kultivierten Hochmoorflächen in den südlichen Chiemseemooren am Moorrand. - Z. Mitteilungen für Landkultur, Moor- und Torfwirtschaft, S.1o7-127, München, Bonn, Wien, Juli/September 196o.

VALLET, J.-M.: Étude des courants électriques naturels liés au carbonifère de la Région de Salins-Chandoline-Bramois près de Sion (Valais). Interprétation tectonique avec quelques considérations générales sur la phénomène de la polarisation spontanée. - 1949.

VIDAL, H.: Bodenphysikalische und hydropedologische Untersuchungen an bayerischen Moorprofilen. - Z. Mitteilungen für Landkultur, Moor- und Torfwirtschaft. - S. 18-32, München, Bonn, Wien März 1959,a. [Siehe auch HOHENSTATTER]

-- -- -- : Vergleichende Wasserhaushalts- und Klimabeobachtungen auf unkultivierten und kultivierten Hochmooren in Südbayern. - Z. Mitteilungen für Landkultur, Moor- und Torfwirtschaft, S. 169-204, München, Bonn, Wien, Dezember 1959,b.

VIDAL, H.: Ergebnisse vergleichender Untersuchungen über die Abfluß- und Grundwasserverhältnisse und den Wasserhaushalt eines unberührten bzw. entwässerten und kultivierten alpenrandnahen Hochmoores. - Z. Mitteilungen für Landkultur, Moor- und Torfwirtschaft, S.5o-1o7, München, Bonn, Wien, Juli/Sept. 1960.

-- -- -- : Ergebnisse vergleichender Abfluß- und Grundwasserbeobachtungen auf einer unberührten bzw. kultivierten Hochmoorfläche in den südlichen Chiemseemooren im Abflußjahr 1961. - Bayer. Landwirtschaftliches Jahrbuch 38, München 1961.

WILHELM, F.: Abfluß, Hydrometrie, Temperatur der Binnengewässer, unterirdisches Wasser, Verdunstung, Wasserhaushalt des Festlandes. - Frankfurt/M 196o. [Siehe auch BARTELS]

WILKENS, F.: Geoelektrische Untersuchungen zur Erschließung von Graphitlagerstätten unter besonderer Berücksichtigung der Eigenpotential-Methode. - Dissertation, München, 1955.

-- -- -- : Elektrokinetische Grenzflächenerscheinungen im Bereich oberflächennaher Erdschichten. - Z. für Geophysik, H.1 1957.

L e b e n s l a u f .

Ich, Max Schuch, geboren am 19. 1. 1931 in München, bin der Sohn des Notars i.R. Dr. Max Schuch in Haag i. OB. und seiner Ehefrau Luise, geborene Lanz.

Von 1937 bis 1941 besuchte ich die Volksschule in Haag i.OB., 1942 trat ich in die Luitpoldoberrealschule in Wasserburg/Inn ein; 1946 kam ich an die Klenzeoberrealschule in München, machte das vorgeschriebene Wiederholungsjahr 46/47 und erwarb 1951 das Reifezeugnis vom 17.7.

In der Zeit vom Winter-Halbjahr 1951/52 bis 1958/59 war ich an der Ludwig-Maximilians-Universität München eingeschrieben und besuchte Vorlesungen und Übungen der naturwissenschaftlichen Fächer. - Im Februar 1959 bestand ich die Diplomhauptprüfung für Studierende der Geophysik mit "gut". Das Thema der Diplomarbeit lautete: "Möglichkeiten der Eigenpotentialmethode; Untersuchungen an Mooren, Serpentin, Glaukonitsandstein und Basalten". - Seit Frühjahr 1959 bin ich im Rahmen des Schwerpunktprogramms " Geophysikalische Erforschung des tieferen Untergrunds Mitteleuropas" Mitarbeiter am Institut für angewandte Geophysik der Universität in München. Ich betreue hier vor allem die Instrumente und die Organisation der seismischen Feldmessungen des Instituts. Außerdem befaßte ich mich mit geoelektrischen Messungen und Registrierungen in Fortführung meiner Diplomarbeit. Nun lege ich meine Dissertation mit dem Thema vor: "Eigenpotentialbeobachtungen mit verschiedenartigen Elektroden, insbesondere an Torflagerstätten".